

## INTERFERENCE ALIGNER

**Patent number:** JP2004014867  
**Publication date:** 2004-01-15  
**Inventor:** OSAWA HISAO; FUJII TORU; OKI YASUSHI  
**Applicant:** NIPPON KOGAKU KK  
**Classification:**  
**- international:** **G03F7/20; H01L21/027; G03F7/20; H01L21/02;** (IPC1-7): H01L21/027; G03F7/20  
**- european:**  
**Application number:** JP20020167540 20020607  
**Priority number(s):** JP20020167540 20020607

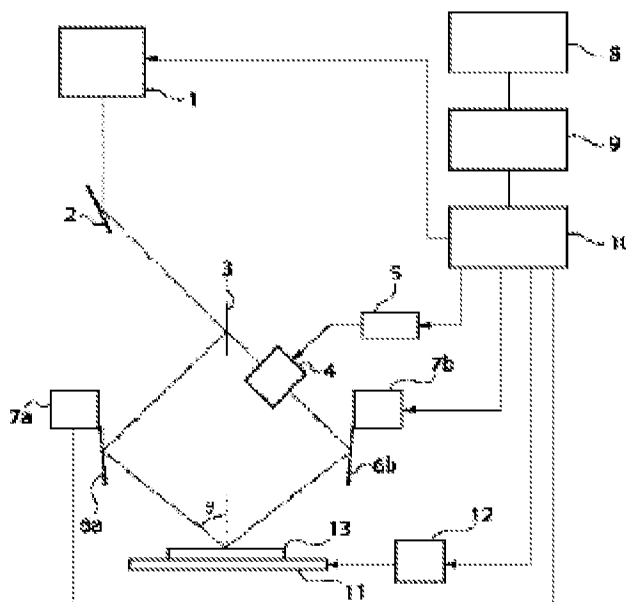
*Report a data error here*

### Abstract of JP2004014867

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an interference aligner capable of creating various exposure patterns using interference of light without using a reticle.

**SOLUTION:** A pattern to form on a wafer is stored in a pattern memory 8 and, based on that information, an intensity/phase calculator 9 calculates the interference intensity at each incident angle  $[\theta]$ , the phase between two light beams, and the angular variation of interference reflectors 6a and 6b. Based on the output from the intensity/phase calculator 9, a synchronization controller 10 transmits the angular variation of the interference reflectors 6a and 6b to reflector controllers 7a and 7b in order to vary the angle of the interference reflectors 6a and 6b. At the same time, the interference intensity is transmitted to an exposure light source 1 in order to regulate the exposure, and the phase variation is transmitted to a phase modulation controller 5 in order to vary the optical phase difference between two light beams by driving a phase modulation element 4. These operations are performed by varying the incident angle  $[\theta]$  for a required amount in a desired mode, and the wafer is exposed.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-14867

(P2004-14867A)

(43) 公開日 平成16年1月15日(2004.1.15)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/027

G03F 7/20

F I

H01L 21/30 528

G03F 7/20 521

テーマコード (参考)

5F046

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2002-167540 (P2002-167540)	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン
(22) 出願日	平成14年6月7日(2002.6.7)		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
		(74) 代理人	100094846 弁理士 細江 利昭
		(72) 発明者	大澤 日佐雄 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
		(72) 発明者	藤井 透 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
		(72) 発明者	大木 裕史 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
		Fターム(参考)	5F046 BA08

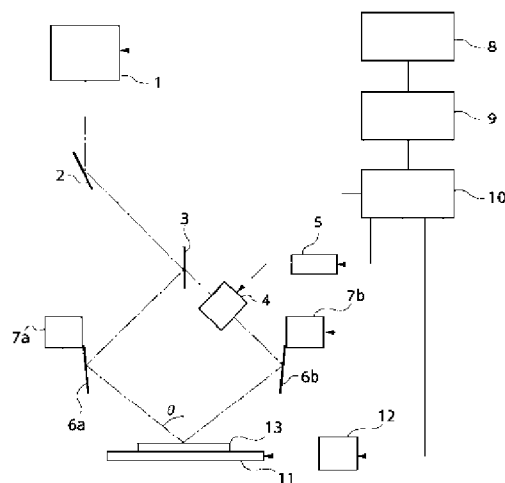
(54) 【発明の名称】 干渉露光装置

(57) 【要約】

【課題】様々な露光パターンを、レチクルを使用せず、光の干渉を使用して作り出すことが可能な干渉露光装置を提供する。

【解決手段】パターン記憶装置8にはウエハ上に形成したいパターンが記憶されており、強度・位相計算装置9はその情報を基に、各入射角 $\theta$ に対して干渉強度、2光束間の位相、干渉用反射鏡6a、6bの角度変化量を計算する。同期制御装置10は強度・位相計算装置9の出力を基に、干渉用反射鏡6a、6bの角度変化量を反射鏡制御装置7a、7bに伝え、干渉用反射鏡6a、6bの角度を変化させる。同時に、干渉強度を露光光源1に伝えて露光量を調整し、位相変化量を位相変調制御装置5に伝え位相変調素子4を駆動して2光束間の光位相差を変化させる。これらの動作を所望のパターンにおいて必要なだけ入射角 $\theta$ を変化させながらウエハ上に露光を行う。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光源と、当該光源からの光を異なる光路を通る 2 つの光路に分ける第 1 の光学系と、2 つの光路に分かれた光を再び露光面で合成し、干渉縞を形成する第 2 の光学系を有する干渉露光装置であって、前記第 2 の光学系において、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度が可変とされていることを特徴とする干渉露光装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の干渉露光装置であって、前記第 2 の光学系は、当該第 2 の光学系に含まれる反射鏡の角度を変化させることで、前記露光面上に各光が到達する際の、前記露光面となす角度を調整する機能を有することを特徴とする干渉露光装置。

10

## 【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の干渉露光装置であって、前記第 2 の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の強度に応じて、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎の露光量を調整する機能を有することを特徴とする干渉露光装置。

## 【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のうちいずれか 1 項に記載の干渉露光装置であって、前記第 2 の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の位相に応じて、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎の 2 つの光束の位相差を調整する機能を有することを特徴とする干渉露光装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 から請求項 3 のうちいずれか 1 項に記載の干渉露光装置であって、前記第 2 の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換に応じて、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎に、結像面に置かれた露光面の位置を変える機能を有することを特徴とする干渉露光装置。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は干渉露光装置に関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来技術による露光装置の概略を、図 2 を用いて説明する。従来技術による露光装置は、少なくとも、露光のための光を発生する光源 101、光源からの光をレチクルに照射する照明光学系 102、レチクルとウエハの間の相対位置を調整するためのアライメント光学系 103、レチクルを透過した光をウエハに投影する投影光学系 110、レチクルステージ 105、レチクル位置を制御するレチクルステージ制御機構 104、ウエハステージ 108、ウエハ位置を制御するウエハステージ制御機構 107、全体を統括制御する制御機構 109 を備えている。

30

## 【0003】

レチクルステージ 105 にはレチクル 105a が置かれ、ウエハステージ 108 上にはウエハ 108a が置かれ、レチクル 105a とウエハ 108a はそれぞれ投影光学系 110 の物体面、像面となるように投影光学系 110 との位置関係が調整されている。

40

## 【0004】

露光光源 101 からの光は照明光学系 102 を通りレチクル 105a を照明する。レチクル 105a、投影光学系 110、及びウエハ 108a が上記の関係にあるためレチクル 105a を透過した光は投影光学系 110 でウエハ 108a 上に結像し、ウエハ 108a 上に感光剤が塗布されていれば、レチクルのパターンをウエハ 108a 上に転写することができる。

## 【0005】

通常、投影光学系で転写できる面積はウエハ全面に比べ小さいため、レチクルステージ 105 とウエハステージ 108 により、それぞれレチクルとウエハの水平位置（光軸と垂直

50

な面内の位置)を制御することで、ウエハ全面にレチクルパターンの転写を行えるようにしてある。このとき、ウエハ全面における転写パターンはウエハ全面において異なるパターンでもよいし、同一レチクルパターンの繰り返しでもよい。

#### 【0006】

ところで、通常の露光装置では、光の回折限界からの制約により形成できるパターンの周期に下限があることが知られている。すなわち、照明光の波長を $\lambda$ 、光学系の開口数をNAとすると、形成できるパターンの周期の下限は光の回折限界から

$$P_{min} = \lambda / (2NA)$$

となり、これよりも微細な加工を行うことは原理的に不可能であった。

#### 【0007】

一方で、回路パターンの微細化に伴い露光装置に要求される露光線幅、周期は年々微細化してきているため、上記の限界の範囲内でこれに対応するために、光学系の開口数NAを大きくするとともに照明波長 $\lambda$ の短波長化が進められてきた。

#### 【0008】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、現在すでに光学系の開口数NAは大気中で使用する場合に上限となる1.0に極めて近づいている。さらに照明光に関しても、既に真空紫外光とも言える波長150nm程度の光が利用されつつあるため、露光光学系を構成するためにこれまで用いられてきた多くの光学材料が、透過率の点から利用不可能となり、光学設計の選択の幅が狭くなってきている。このため、要求される微細パターンを形成するために必要な性能を持った光学系の設計が非常に困難となってきている。

#### 【0009】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、レチクル必要としない、光の干渉利用した露光装置を提供することを課題とする。

#### 【0010】

##### 【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するための第1の手段は、光源と、当該光源からの光を異なる光路を通る2つの光路に分ける第1の光学系と、2つの光路に分かれた光を再び露光面で合成し、干渉縞を形成する第2の光学系を有する干渉露光装置であって、前記第2の光学系において、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度が可変とされていることを特徴とする干渉露光装置(請求項1)である。

#### 【0011】

本手段の作用を説明するに先立ち、その前提となる一般的な部分コヒーレント結像条件の下での結像について述べる。

一般的に、周波数領域での位置ベクトルを $v$ 、 $v'$ とし、2つの光の瞳中での強度分布のフーリエ変換をそれぞれ

#### 【0012】

##### 【数1】

$$\tilde{O}(v), \tilde{O}(v')$$

#### 【0013】

とすると、この2つの光線の干渉による結像面上の強度分布は、結像面での位置ベクトルを $r$ として、

#### 【0014】

##### 【数2】

$$I(r) = \iint_{v, v'} \tilde{O}^*(v) \tilde{O}(v') R(v, v') e^{i(v-v') \cdot r} dv dv' \quad \cdots (1)$$

#### 【0015】

10

20

30

40

50

となる。ここで、

【0016】

【数3】

$$\tilde{O}^*(v)$$

【0017】

は

【0018】

【数4】

$$\tilde{O}(v)$$

10

【0019】

の複素共役数であり、 $(v-v') \cdot r$ は $(v-v')$ と $r$ の内積、 $R(v, v')$ は、投影光学系のTCC(Transmission of Cross Coefficient)である。また、(1)式の積分範囲は、瞳座標内である。

【0020】

(1)式には様々な空間周波数の成分が入っているので、

$$C = v - v'$$

とすれば、(1)式は

20

【0021】

【数5】

$$I(r) = \iint_{C,v} \tilde{O}^*(v) \tilde{O}(v-C) R(v, v-C) e^{iC \cdot r} dv dC \quad \cdots(2)$$

【0022】

と書くことができるため、像面での光強度は、空間周波数 $C$ ごとに様々な強度と位相を持つ干渉縞の積分としてとらえることができる。空間周波数 $C$ に関しては露光領域の長さを $L$ とすると $2\pi/L$ が最低周波数となり、この周波数で量子化した周波数で級数展開ができるので、(2)式は、以下の形に展開できる。ただし、 $C_n = 2n\pi/L$ である。

30

【0023】

【数6】

$$I(r) = \sum_{C_n} \int_v \tilde{O}^*(v) \tilde{O}(v-C) R(v, v-C) e^{iC \cdot r} dv \quad \cdots(3)$$

【0024】

これは、形式的に

【0025】

【数7】

$$I(r) = \sum_{C_n} |I(C_n)| e^{i\phi(C_n)} e^{iC_n \cdot r} \quad \cdots(4)$$

40

【0026】

と書くことができる。このことは、

振幅が $|I(C_n)|$ であり、位相が $\phi(C_n)$ である干渉縞を周波数 $C_n$ ごとに用意できれば、光干渉を利用して所望のパターンをウエハの上に投影できることを意味している。ここで、周波数 $C_n$ 毎に用意する干渉縞の振幅と位相は、

【0027】

50

【数 8】

$$|I(C_n)| e^{i\phi(C_n)} = \int_v \tilde{O}^*(v) \tilde{O}(v - C_n) R(v, v - C_n) e^{iC_n \cdot r} dv \quad \cdots (5)$$

【0028】

のように、光源の強度分布のフーリエ変換

【0029】

【数 9】

$$\tilde{O}(v)$$

10

【0030】

と、想定している投影光学系の TCC である  $R(v, C_n)$  から計算できる各係数を、絶対値と位相因子に分けることで容易に求めることができる。ここでの位相因子は像面での位相を表しているが、光干渉の際には、2 光束の位相差がこれと等しいため、2 光束の一方の位相を他方に対して  $\phi(C_n)$  ずらすことで達成することができる。

【0031】

2 光束をウエハ上で干渉させる場合これら 2 光束がなす角を  $2\theta$  とすると、  
 $2 \sin \theta = |C| = |v - v'| \quad (6)$

である。

20

【0032】

よって、1 次元パターンに限れば、一方の光の位相を可変とした 2 光束干渉によって所望のパターンをウエハ上に形成することができる。

【0033】

実際には、 $I(r)$  が決定されると、それを (5) 式に対応するようにフーリエ級数に展開することにより、 $C_n$  毎に振幅である  $|I(C_n)|$  と位相差  $\phi(C_n)$  を求める。 $|I(C_n)|$  が、 $C_n$  が与えられたときの投影光学系の強度（光源の強度 × 露光時間）に対応する。 $C_n$  を与える 2 光束のなす角は、(6) 式により決定する。

【0034】

また、 $R(v, v')$  としては、理想的な投影光学系のものを持ってくればよく、それは中心位置が座標  $v, C - v$  にある半径  $NA$  の円と、中心位置が座標  $(0, 0)$  半径  $\sigma \times NA$  の円全てが重なった領域の面積であるため容易に計算できる。ここで、 $\sigma$  は照明光学系のコヒーレンス度である。

30

【0035】

このようにして計算を行った後は、2 光束のなす角度  $\theta$  を変えながら、それに対応する  $C_n$  に応じて、投影光学系の強度に対応する  $|I(C_n)|$  と 2 光束間の位相差  $\phi(C_n)$  を変化させて露光を行えば、目的とするパターンを結像面に結像させることができる。

【0036】

2 次元の像形成の場合は、感光材料の感光が光強度の積分強度に比例するため、2 光束光干渉による像形成を、結像面を回転させながら行うことも可能である。

40

【0037】

なお、本手法で非常に大きなパターン（低い空間周波数を持ったパターン）を形成するには 2 光束間の角度を非常に小さくしなければならず、装置が大型化するおそれがあるが、そのような大きなパターンの形成には従来の低解像度露光装置を用いることで可能であるため大きな問題とはならない。すなわち、パターン中の空間周波数に応じて本手法と従来の露光装置を使い分ければよい。

【0038】

本手段においては、このような原理に基づき、露光面に到達する光の入射角が可変とされているので、このような原理に基づき、入射角を変化させながら、各入射角ごとの露光量（光源の強さ、露光時間の少なくとも一方）を変化させることで、目的とする様々なビッ

50

チの露光パターンを露光面に形成することができる。すなわち、光の干渉を利用して所望のパターンをウエハ等の基板上に形成しているの、レチクル等を必要とせず、かつ、レチクル等に形成されたパターンを露光転写する場合に比して、微細なパターンを基板上に形成することができる。

#### 【0039】

前記課題を解決するための第2の手段は、前記第1の手段であって、前記第2の光学系は、当該第2の光学系に含まれる反射鏡の角度を変化させることで、前記露光面上に各光が到達する際の、前記露光面となす角度を調整する機能を有することを特徴とするもの（請求項2）である。

#### 【0040】

本手段においては、前記第2の光学系に角度が可変な反射鏡が含まれており、それにより、第1の手段で述べた入射角を可変することができる。よって、反射鏡の角度を変化させることにより、所望の $C_n$ を形成することができる。

#### 【0041】

前記課題を解決するための第3の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であって、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の強度に応じて、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎の露光量を調整する機能を有することを特徴とするもの（請求項3）である。

#### 【0042】

本発明においては、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎の露光量を調整する機能を有するので、前記第1の手段で説明した $C_n$ 毎に $|I(C_n)|$ を変化させることができ、所望のピッチのパターンを所望の強さで被露光面上に形成することができる。

#### 【0043】

前記課題を解決するための第4の手段は、前記第1の手段から第3の手段のいずれかであって、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の位相に応じて、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎の2つの光束の位相差を調整する機能を有することを特徴とするもの（請求項4）である。

#### 【0044】

本手段においては、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎の2つの光束の位相差を調整する機能を有するので、前記第1の手段で説明した $C_n$ 毎に位相差 $\phi(C_n)$ を調整することができる。特に、要求される露光パターンのフーリエ変換強度に応じて、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎の露光量を調整しながら、同時に位相差を変化させて、 $C_n$ 毎に露光を行って重ね合わせるにより、様々なパターンを被露光面上に形成することができる。

#### 【0045】

前記課題を解決するための第5の手段は、前記第2の光学系は、要求される露光パターンのフーリエ変換後の位相に応じて、前記露光面上に各光が到達する際の露光面となす角度毎に、結像面に置かれた結像面の位置を変える機能を有することを特徴とするもの（請求項5）である。

#### 【0046】

前記第4の手段においては、結像面に形成される干渉縞の位相の調整を、2つの光束の位相差を変えることによって行っていた。本手段はこの代わりに、結像面に置かれた結像面の位置を、 $C_n$ 毎に代えることによって、干渉縞と被照射対の結像面との位相関係を変化させ、前記第4の手段と等価な関係を作り出している。

#### 【0047】

#### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態の例を、図を用いて説明する。図1は、本発明の実施の形態の1例である干渉露光装置を利用した露光装置の光学系の概要を示す図である。

10

20

30

40

50

## 【0048】

図1に示す露光装置は、露光光源1、反射鏡2、半透過鏡3、位相変調素子4、及びそのドライバ5、光干渉用反射鏡6a、6b、及びその制御装置7a、7b、パターン記憶装置8、強度・位相計算装置9、同期制御装置10、ウエハステージ11、及びその制御装置12からなる。ウエハステージ11上には、感光剤を塗布したウエハ13が載せられている。

## 【0049】

露光光源1から射出された光は反射鏡2で反射され、半透過鏡3に入射する。半透過鏡3は入射した光の1/2が反射され、1/2が透過されるように作られている。半透過鏡3で反射した光は干渉用反射鏡6aで反射されウエハ13上に入射する。半透過鏡を透過した光は干渉用反射鏡6bで反射されウエハ13上に入射する。

10

## 【0050】

ウエハ13上では上記2つの光路を通ってきた光により光干渉が起こり、このときの2光束の入射角を両方とも $\theta$ とすれば、ウエハ面上にビッチ $\lambda/2 \sin \theta$ の干渉縞が形成される。

## 【0051】

パターン記憶装置8にはウエハ上に形成したいパターンが記憶されており、強度・位相計算装置9はその情報を元に(4)式、(5)式を使って、各 $\theta$ に対して干渉強度、2光束間の位相、干渉用反射鏡6a、6bの角度変化量を計算する。

## 【0052】

同期制御装置10は強度・位相計算装置9の出力を基に、干渉用反射鏡6a、6bの角度変化量を反射鏡制御装置7a、7bに伝え、干渉用反射鏡6a、6bの角度を変化させる。同時に、干渉強度を露光光源1に伝えて露光量を調整し、位相変化量を位相変調制御装置5に伝え位相変調素子4を駆動して2光束間の光位相差を変化させる。これらの動作を所望のパターンにおいて必要なだけ入射角 $\theta$ を変化させながらウエハ上に露光を行う。

20

## 【0053】

ところで、本実施例によるパターン形成手法でありゆる空間周波数をもったパターンを露光しようとする1度に露光できる面積が限られる。干渉すべき2つのビームが完全に分離しているところに半透過鏡4を置かなければならないこと、最低空間周波数ではその波長がパターンサイズと等しいことを考慮して計算すると、一度に露光できる幅 $w$ はおよそ

30

$$w = (L \lambda / 2)^{1/2}$$

となる。ここで、 $\lambda$ は使用する光の波長、 $L$ は干渉用反射鏡6a、6bの高さである。例えば、 $\lambda = 150 \text{ nm}$ 、 $L = 1000 \text{ mm}$ とすると、 $w = 0.27 \text{ mm}$ になってしまう。

## 【0054】

従って、露光パターンのうち低周波成分は従来の露光装置に任せ、本技術による露光では高周波成分を担当するのが望ましいが、すべての露光を本露光装置で行う場合には、ウエハステージ制御装置12によりウエハステージ11を上記幅 $w$ ごとにならびながら、ステップアンドリビート方式により露光を行っていけばよい。

40

## 【0055】

なお、上記のうち反射鏡3は半透過鏡への光の入射角により反射光、透過光の強度が異なることがあるため、これらの光強度が等しくなるよう調整するために設けてあるものであり、必須ではない。

## 【0056】

位相変調素子5は透過光側にのみ入っているが、反射光側のみ、もしくは透過光側、反射光側両方に入れることもできる。両方の光路に入れる場合は、両者の位相変調量の差を上記の位相変調量とすれば目的は達成できる。

## 【0057】

50

光源として時間コヒーレンスの悪い光源を用いた場合には両方の光路に同じ大きさの位相変調素子を入れることで光路長をほぼ等しくすることができ、干渉性を改善することができる。

#### 【0058】

上記で、各入射角 $\theta$ ごとに变化する干渉強度の調節を、露光光源1に制御を加えることを行っているが、露光光源1の強度を一定に保ったまま各入射角における干渉用反射鏡6a、6bの滞留時間で制御を行ってもよい。あるいは、上記の露光を連続的に入射角を変化させながら行う場合には、干渉用反射鏡6a、6bの角度変化の速度に制御を加えて行ってもよい。

#### 【0059】

10

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、様々な露光パターンを、レチクルを使用せず、光の干渉を使用して作り出すことが可能な干渉露光装置を提供することができる。

#### 【0060】

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の一例の光学系の概要を示す図である。

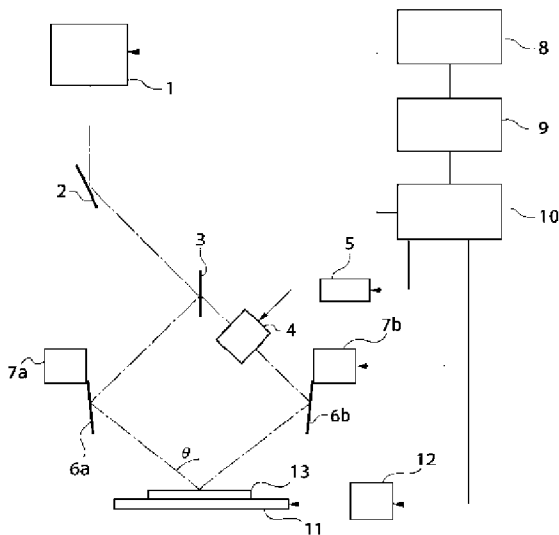
【図2】従来の露光装置の概要を示す図である。

#### 【符号の説明】

1：露光光源、2：反射鏡、3：半透過鏡、4：位相変調素子、5：位相変調素子制御装置、6a、6b：光干渉用反射鏡、7a、7b：反射鏡制御装置、8：パターン記憶装置、9：強度・位相計算装置、10：同期制御装置、11：ウエハステージ、12：ウエハステージ制御装置、13：ウエハ

20

【図1】



【図2】

